

00P 16 192



⑬ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 198 36 612 A 1**

⑤ Int. Cl. 7:
G 01 R 33/54
G 01 R 33/485

⑲ Aktenzeichen: 198 36 612.4
⑳ Anmeldetag: 12. 8. 1998
㉑ Offenlegungstag: 24. 2. 2000

DE 198 36 612 A 1

⑦ Anmelder:
Siemens AG, 80333 München, DE

⑦ Erfinder:
Deimling, Michael, Dr.rer.nat., 91096 Möhrendorf, DE

⑤⑤ Entgegenhaltungen:

DE 44 27 497 A1
= US 55 41 514
DE 35 43 854 A1
US 48 57 847
US 47 69 603
EP 07 45 865 A1

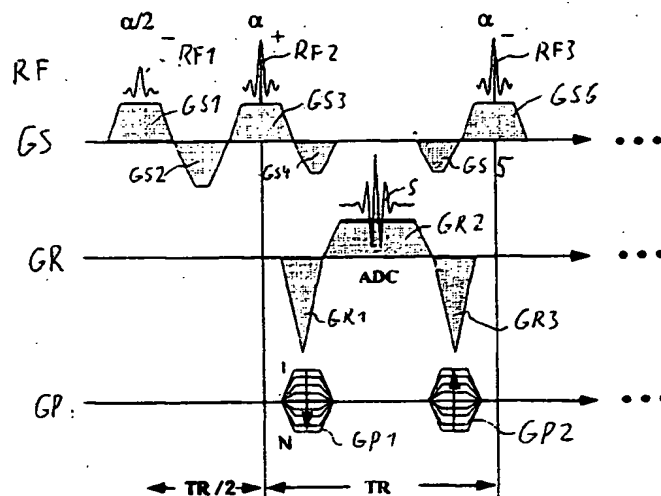
Journ.Magn.Reson. 4, 1971, S. 366-383;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Verfahren zum Betrieb eines Kernspintomographiegeräts zur Trennung von Wasser- und Fettsignalen

⑤⑦ Eine True-FISP-Sequenz wird mit einer Repetitionszeit TR ausgeführt, so daß fettgebundene Protonen durch den Effekt der chemischen Verschiebung gegenüber wassergebundenen Protonen eine Phasendrehung von etwa $n \cdot 180^\circ$ erfahren, wobei n eine ungerade Zahl ist. Damit erreicht man, daß im Steady-State-Zustand der Magnetisierung je nach weiterer Ausgestaltung der Sequenz entweder fettgebundene Protonen oder wassergebundene Protonen nur noch eine geringe Magnetisierung aufweisen und somit nur noch wenig zum Meßsignal beitragen.



DE 198 36 612 A 1

Aus der US-Patentschrift 4,767, 603 ist eine Pulssequenz bekannt, die üblicherweise mit dem Akronym "FISP" bezeichnet wird. Eine spezielle Variante dieser Pulssequenz, bei der vor jeder Anregung die Gradienten in allen Raumrichtungen zurückgesetzt werden, wird als "True-FISP-Sequenz" bezeichnet. Die relativ lange Einschwingzeit bei dieser Pulssequenz wird verringert, indem man entsprechend der US-Patentschrift 5,541,514 einer FISP-Sequenz mit aufeinanderfolgenden Anregungen mit einem Flipwinkel α einen Hochfrequenzpuls mit dem Flipwinkel $\alpha/2$ voranstellt.

Die True-FISP-Sequenz weist für die MR-Bildgebung hervorragende Eigenschaften auf:

- Hohe Ortsauflösung,
- kurze Meßzeit im Sekundenbereich,
- hohes Signal/Rausch-Verhältnis, insbesondere für Gewebe mit flüssiger Konsistenz.

Die True-FISP-Sequenz weist eine starke T1/T2-Wichtung auf. Reines Wasser mit einem Verhältnis T1/T2 = 1 ergibt bei FISP das maximale SSFP (Steady State Free Precession)-Signal M0/2. Dabei steht M0 für die von der Protonendichte abhängige Magnetisierung im relaxierten Zustand. Fett weist ein T1/T2-Verhältnis von 270 : 70 ms auf. Obwohl dieses Verhältnis deutlich größer als das von reinem Wasser ist, weist Fett bei der FISP-Sequenz trotzdem noch eine sehr hohe Signalintensität auf. Zum Vergleich sei auf das T1/T2-Verhältnis von 12 : 1 bei Muskulatur hingewiesen. Bei herkömmlichen Sequenzen, bei denen eine hohe Signalintensität von Fett ebenfalls stört, wird dieses Problem üblicherweise durch Fettsättigung in einer Präparationsphase gelöst. Hierbei wird auf das Untersuchungsobjekt ein spektral selektiver Hochfrequenzpuls eingestrahlt. Um die durch diesen Puls hervorgerufene Magnetisierung zu zerstören, wird der Hochfrequenzpuls von sogenannten Spoiler-Gradientenpulsen eingeschlossen. Eine solche Präparationsphase dauert jedoch verhältnismäßig lang (z. B. 10 ms), so daß sie für FISP mit einer typischen Repetitionszeit TR = 5 ms nicht in Betracht kommt. Bei der notwendigen Verlängerung auf z. B. 15 Millisekunden würde man starke Artefakte aufgrund von Feldinhomogenitäten erhalten.

Aufgabe der Erfindung ist es daher, bei einer FISP-Sequenz eine Trennung des Fett- und Wassersignals zu ermöglichen. Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die Merkmale des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird nachfolgend anhand der Fig. 1 bis 9 näher erläutert. Dabei zeigen:

Fig. 1 eine beispielhafte Pulssequenz,

Fig. 2 die räumliche Darstellung des Magnetisierungsvektors,

Fig. 3 das Betragssignal der Quermagnetisierung als Funktion der Spin-Dephasierung,

Fig. 4 die zeitliche Entwicklung der y-Komponente My der Magnetisierung bei einer Repetitionszeit TR = 4,8 ms,

Fig. 5 die entsprechende zeitliche Entwicklung der transversalen Magnetisierung Mt,

Fig. 6 die zeitliche Entwicklung der y-Komponente My der Magnetisierung bei einer Repetitionszeit TR = 2,4 ms,

Fig. 7 die entsprechende zeitliche Entwicklung der transversalen Magnetisierung Mt,

Fig. 8 ein Intensitätsprofil für ein Öl-Wasser-Phantom ohne Ölunterdrückung,

Fig. 9 ein Intensitätsprofil für ein Öl-Wasser-Phantom mit Ölunterdrückung.

Fig. 1 zeigt als Ausführungsbeispiel der Erfindung eine Pulssequenz, wie sie – mit Ausnahme des nachfolgend erläuterten Zeitablaufs – auch schon in der US-Patentschrift 5,541,514 beschrieben wurde. Die Pulssequenz beginnt mit einem Hochfrequenzpuls RF1, der unter der Wirkung eines Schichtselektionsgradienten GS1 eingestrahlt wird, so daß nur eine Schicht des Untersuchungsobjekts angeregt wird. Die mit dem Schichtselektionsgradienten GS1 verursachte Dephasierung wird durch den entgegengesetzt gerichteten Gradienten GS2 wieder rückgängig gemacht. Anschließend folgt ein zweiter Hochfrequenzpuls RF2, der unter einem Schichtselektionsgradienten GS3 eingestrahlt wird. Im nächsten Schritt werden die Kernspins durch einen Phasencodiergradienten GP1 phasencodiert und in Ausleserichtung durch einen Gradienten GR1 dephasiert. Ferner wird in Schichtselektionsrichtung ein zum Schichtselektionsgradienten GS3 entgegengesetzt gerichteter Gradientenpuls GS4 geschaltet.

Im nächsten Schritt wird unter einem Auslesegradienten GR2 ein Kernresonanzsignal S ausgelesen. Schließlich wird in negativer Schichtselektionsrichtung ein Gradientenpuls GS5 und in negativer Ausleserichtung ein Gradientenpuls GR3 geschaltet. Die Phasencodierung durch den Gradientenpuls GP1 wird durch einen Gradientenpuls GP2 in entgegengesetzter Richtung wieder zurückgesetzt. Anschließend wird unter einem Schichtselektionsgradienten GS6 ein weiterer Hochfrequenzpuls RF3 eingestrahlt. Wie für die sogenannte True-FISP-Sequenz typisch, ist das Amplituden-Zeit-Integral in allen Gradientenrichtungen zwischen zwei Anregungen gleich Null und die Gradienten weisen in jedem Zeitfenster zwischen zwei Anregungen eine Symmetrie auf.

Die Repetitionszeit, d. h. die Zeit zwischen zwei Anregungen mit Hochfrequenzpulsen ist in Fig. 1 mit TR bezeichnet. Der als Präparationspuls wirkende Hochfrequenzpuls RF1 weist zum Hochfrequenzpuls RF2 aus Gründen, die in der bereits oben genannten US-PS 5,541,514 näher erläutert sind, einen Abstand TR/2 auf. Ferner ist die Phasensalternierung der Hochfrequenzpulse wesentlich, so daß man eine Anregung nach dem Schema

$$\alpha/2 - TR/2 - [\alpha_+ - TR - \alpha_- - TR \dots]$$

In Fig. 2 ist dargestellt, wie sich die oben beschriebene Anregung auf die Magnetisierung im rotierenden Koordinatensystem x,y,z auswirkt. Der Magnetisierungsvektor steht zunächst in Richtung des Grundfelds, d. h. in z-Richtung, und wird durch den ersten Hochfrequenzpuls RF1 mit dem Flipwinkel $\alpha/2$ (im folgenden kurz $\alpha/2$ -Puls genannt) in negativer Richtung zur Position I ausgelenkt. Durch den ersten α -Puls RF2 erfolgt eine Auslenkung um den Winkel α zur Position II. Anschließend wird die Magnetisierung durch die Hochfrequenzpulse RF wechselnder Polarität zwischen den Positionen I und II hin- und hergeschwenkt. Man erhält somit einen Steady-State-Zustand der Magnetisierung.

Diese Betrachtung gilt allerdings nur, solange keine Dephasierung der Spins auftritt. Durch die Formeln von Freeman und Hill, die in R. Freeman und H. D. W. Hill, Journal of Magnetic Resonance 4, S. 366-383, 1971, angegeben sind, läßt sich das Verhalten der Steady-State-Magnetisierung als Funktion des Dephasierungswinkels beschreiben. In Fig. 3 ist das Betragssignal der Quermagnetisierung

$$(\sqrt{M_x^2 + M_y^2})$$

als Funktion der Spin-Dephasierung für Wasser (gestrichelte Linie) und Fett (durchgezogene Linie) angegeben. Materialunabhängig verschwindet die Signalamplitude bei phasen-

ternierender Hochfrequenzanregung an den Stellen, an denen die Spin-Dephasierung $\varphi = n \cdot \pi$ mit ungeradem n beträgt. Im idealen homogenen Grundmagnetfeld B_0 ist die Dephasierung innerhalb der Repetitionszeit TR gleich Null und das Signal bei Phasernalternierung der α -Pulse hoch. In einem realen Grundmagnetfeld mit einer Inhomogenität ΔB_0 beträgt die zeitliche Spin-Dephasierung

$$\theta(t) = 2\pi \cdot \Delta B_0 t.$$

Die durch die Feldinhomogenität hervorgerufene Spin-Dephasierung $\theta(t)$ muß über das gesamte TR-Intervall betrachtet viel kleiner als π sein, damit die Signalamplitude nicht abfällt. Damit sind die Anforderungen an die Feldhomogenität bei True-FISP-Sequenzen sehr hoch.

Zu einer Dephasierung führt aber nicht nur eine Magnetfeldinhomogenität, sondern auch der sogenannte Chemical Shift δ , d. h. die Verschiebung der Resonanzfrequenz ω aufgrund der chemischen Bindung. Für Protonen, die in Lipidmolekülen gebunden sind, hat der Chemical Shift δ gegenüber freiem Wasser einen Wert von ca. 3,3 ppm, d. h. die Resonanzfrequenz ω von in Lipidmolekülen gebundenen Protonen ist um $2\pi \cdot \gamma \cdot \delta B_0$ kleiner als die des freien Wassers. Bei einer Feldstärke $B_0 = 1,5$ T beträgt diese Differenz z. B. 210 Hz. Der entscheidende Gedanke besteht nun darin, die Repetitionszeit TR so zu wählen, daß das Signal aus den Lipidmolekülen (also Fett) gegenüber dem Signal aus freiem Wasser eine Phasendrehung von 180° oder ein ungeradzahliges Vielfaches von 180° aufweist. In der Darstellung nach Fig. 2 entspricht dies einer entsprechenden Winkeldrehung um 180° um die z-Achse. Wenn man – wie oben beschrieben – phasernalternierende Hochfrequenzpulse einstrahlt, so erfahren die Fettmoleküle aufgrund der Phasendrehung um 180° keine Alternierung der Hochfrequenz mehr. Während für freies Wasser die Magnetisierung zwischen den in Fig. 2 mit I und II bezeichneten Zuständen hin- und herkippt und damit stets genügend Magnetisierung zur Verfügung steht, wird die Magnetisierung von Fett nach wenigen Anregungspulsen aufgrund der 180° -Phasendrehung sehr klein.

Wenn man andererseits die Repetitionszeit nach der oben dargestellten Regel wählt und keine Phasernalternierung der Anregung durchführt, so wird die Magnetisierung von Wasser, und damit das Wassersignal, bereits nach wenigen Anregungen verschwinden. Für die Magnetisierung von Fett ergibt sich dagegen folgender Sachverhalt: Die Fett-Magnetisierung sei zunächst im Zustand I nach Fig. 2. Zum Zeitpunkt des nächsten α -Pulses (also nach TR) ist die Magnetisierung aufgrund der durch Chemical Shift bedingten Dephasierung um 180° um die z-Achse gedreht, d. h. in die Position II. Durch den nun folgenden α -Puls wird die Magnetisierung wieder in die Position I gedreht usw. Hier tritt also für Fett-Signale im Endeffekt der Wechsel zwischen den Positionen I und II auf, so daß diese im Steady-State-Zustand einen hohen Signalbeitrag liefern.

Je nachdem, ob man die oben genannte Pulssequenz mit oder ohne Phasernalternierung der Hochfrequenz-Anregung betreibt, kann man also ein Fett- oder Wasserbild erhalten.

Aufgrund der obigen Angaben ergibt sich für ein Grundmagnetfeld von 1,5 T eine Repetitionszeit von $TR = 1/(2\gamma \cdot \delta \cdot B_0) = 2,4$ ms bzw. einem ungeradzahligem Vielfachen davon. Solche Repetitionszeiten sind mit leistungsfähigen Kernspintomographen noch realisierbar.

In Fig. 6 ist dargestellt, wie sich die Magnetisierung My in y-Richtung für Fett und Wasser entwickelt, wenn man die obengenannte Repetitionszeit $TR = 2,4$ ms einhält. Hierbei wurden als Parameter angenommen: $B_0 = 1,5$ T, $TR = 2,4$ ms, $\alpha = 90^\circ$, $\delta = 3,3$ ppm, $T_1 = 200$ ms, $T_2 = 60$ ms.

Man sieht, daß die mit Myw bezeichnete Wassermagnetisierung einen Steady-State-Zustand auf relativ hohem Niveau erreicht. Die mit Myf bezeichnete Fettmagnetisierung oszilliert jedoch aufgrund der 180° -Phasendrehungen nach jeder Repetition sehr stark und klingt auf Null ab. Ähnliches gilt für die mit denselben Parametern aufgenommene transversale Magnetisierung Mxf. Das Betragssignal der Wassermagnetisierung

$$M_{tw} = \sqrt{M_{yw}^2 + M_{xw}^2}$$

und das der Fettmagnetisierung

$$M_{tf} = \sqrt{M_{yf}^2 + M_{xf}^2}$$

sind in Fig. 7 dargestellt.

In Fig. 4 und Fig. 5 ist zum Vergleich der entsprechende Magnetisierungsverlauf aufgetragen, wenn man die Pulssequenz mit einer Repetitionszeit $TR = 4,8$ ms betreibt. In diesem Fall erfolgt eine Phasendrehung der Fettsignale um jeweils 360° , so daß die Magnetisierung der Fettprotonen ebenso wie die der Wasserprotonen mit jeder Repetition zwischen zwei Zuständen hin- und herkippt. Hier oszilliert die Magnetisierung Myf und Mxf von Fett am Anfang stark, sie läuft jedoch hier auf denselben Steady-State-Zustand wie die Magnetisierung Myw bzw. Mxw von Wasser.

Zur Demonstration der Wirkung der oben dargestellten Pulssequenz sind in den Fig. 8 und 9 die Intensitätsprofile eines Öl-Wasser-Phantoms dargestellt, und zwar in Fig. 8 ohne die erfindungsgemäße Fett-Unterdrückung (in diesem Fall Öl-Unterdrückung) und in Fig. 9 mit der erfindungsgemäßen Fett-Unterdrückung. Das Öl-Wasser-Phantom weist in einem wassergefüllten Zylinder einen ölfüllten Kern sowie einen ölfüllten Außenmantel auf. Ein Vergleich der beiden Diagramme zeigt, daß sowohl das Signal aus dem ölfüllten Kern als auch das Signal aus dem ölfüllten Mantel deutlich geringer geworden sind. Damit gelingt es auf einfache Weise, ohne größere Eingriffe an der Anlage MR-Bilder mit deutlicher Unterdrückung des Fettanteils darzustellen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betrieb eines Kernspintomographiegeräts mit folgenden Merkmalen:

- mit einer Repetitionszeit (TR) werden Anrege-Hochfrequenzpulse (RF) auf ein Untersuchungsobjekt eingestrahlt,
- zwischen den Anrege-Hochfrequenzpulsen (RF) werden in einem Auslesefenster unter einem Auslesegradienten (GR2) Kernresonanzsignale (S) ausgelesen,
- vor dem Auslesefenster werden die Kernresonanzsignale phasencodiert, wobei die Phasencodierung vor dem nächsten Anrege-Hochfrequenzpuls (RF) wieder zurückgesetzt wird,
- die Repetitionszeit (TR) wird so gewählt, daß fettgebundene Protonen durch den Effekt der chemischen Verschiebung gegenüber wassergebundenen Protonen eine Phasendrehung von etwa $n \cdot 180^\circ$ erfahren, wobei n eine ungerade Zahl ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Anrege-Hochfrequenzpulse (RF) phasernalternierend eingestrahlt werden.

3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei die Anrege-Hochfrequenzpulse (RF) einen Flipwinkel α aufweisen

und wobei zu Beginn der Pulssequenz in einem Abstand $TR/2$ vor dem ersten Anrege-Hochfrequenzpuls (RF2) ein Hochfrequenzpuls (RF1) mit einem Flipwinkel von $\alpha/2$ und einer zum ersten Anrege-Hochfrequenzpuls (RF2) invertierten Phasenlage eingestrahlt wird.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

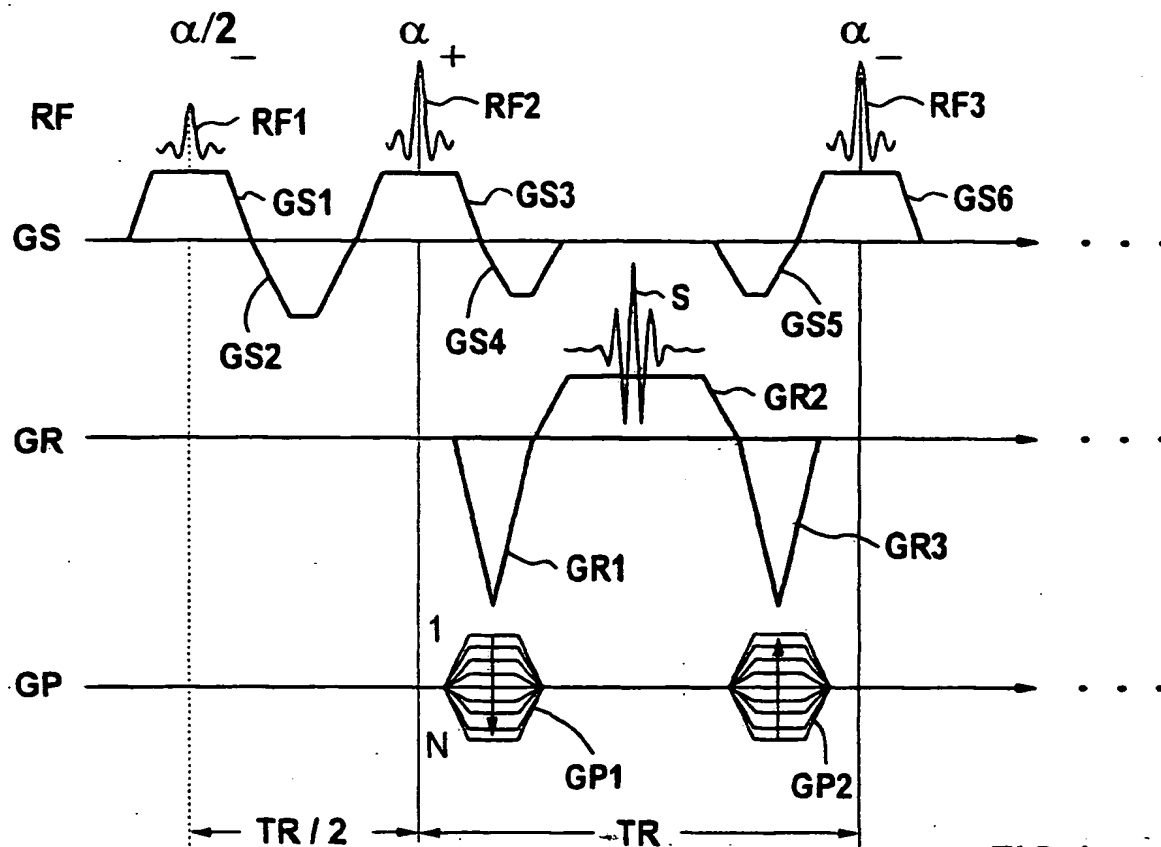


FIG 1

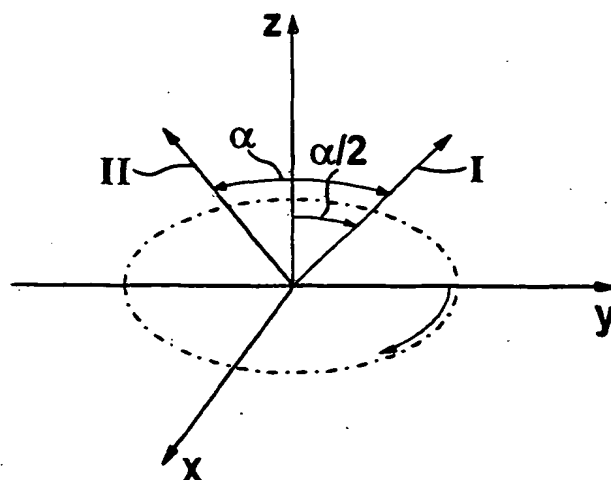


FIG 2

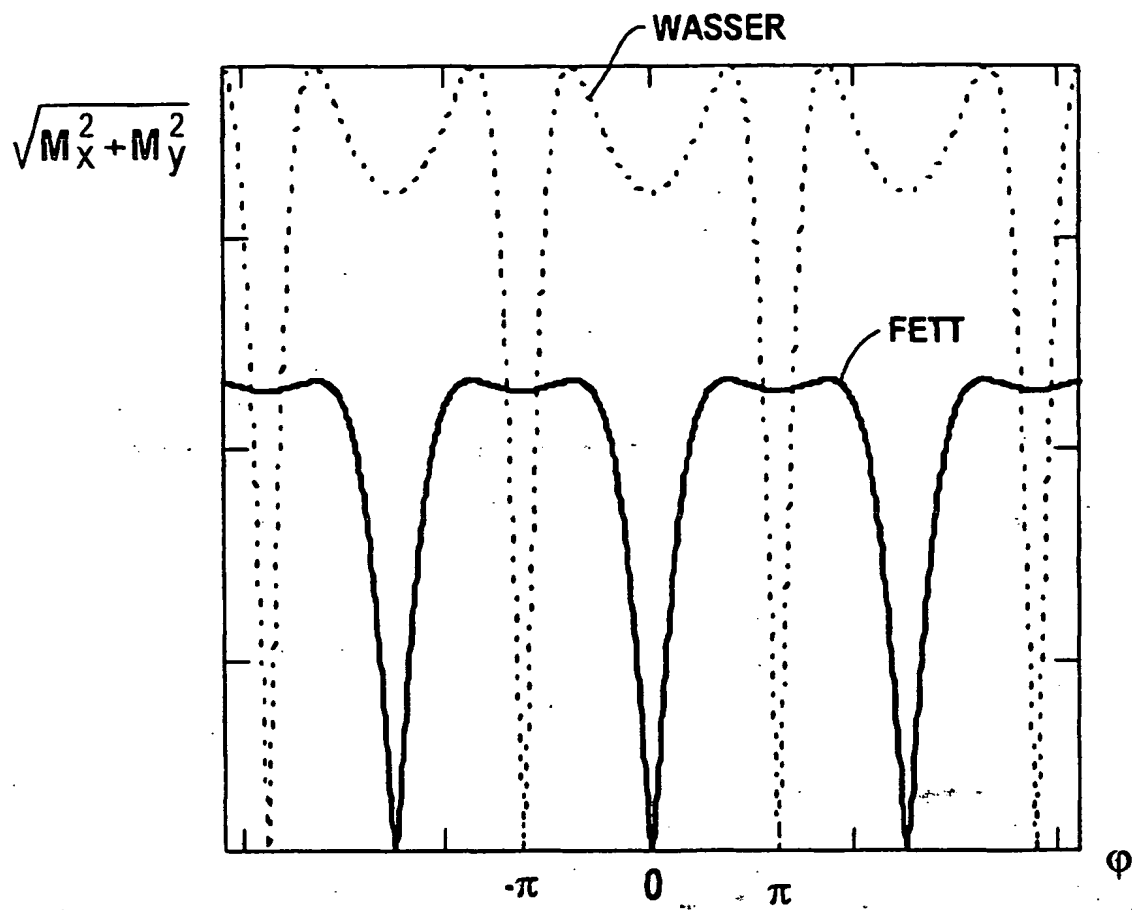


FIG 3

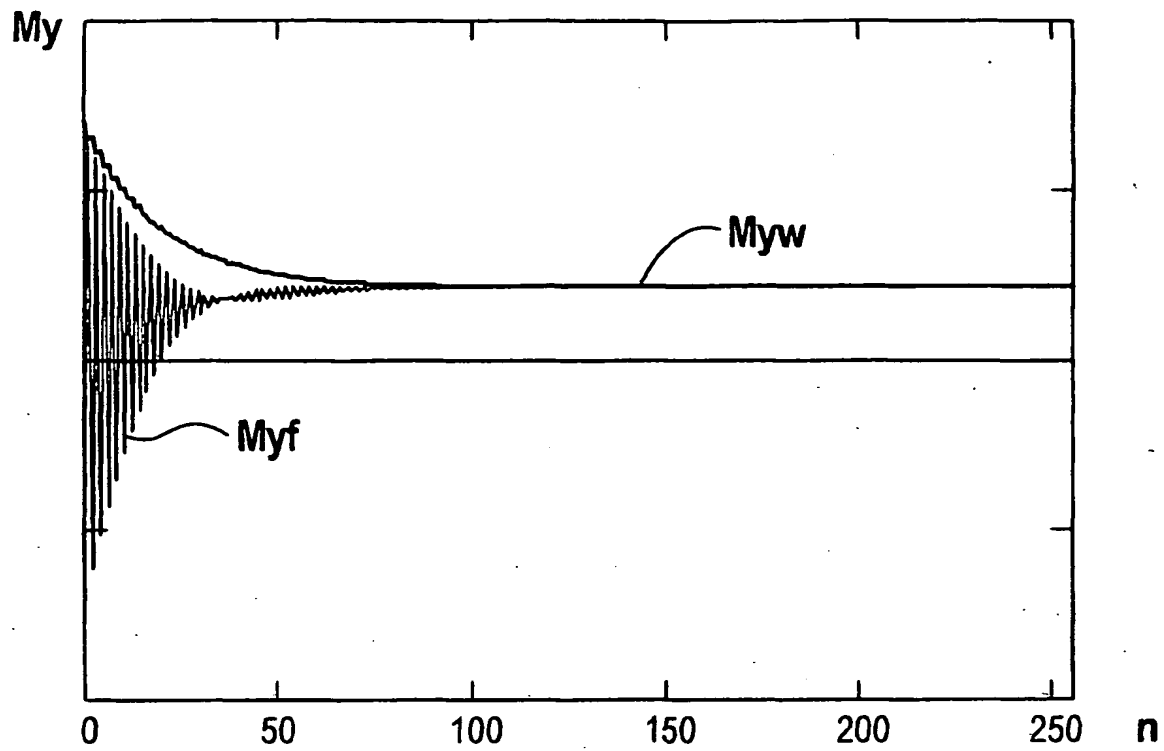


FIG 4

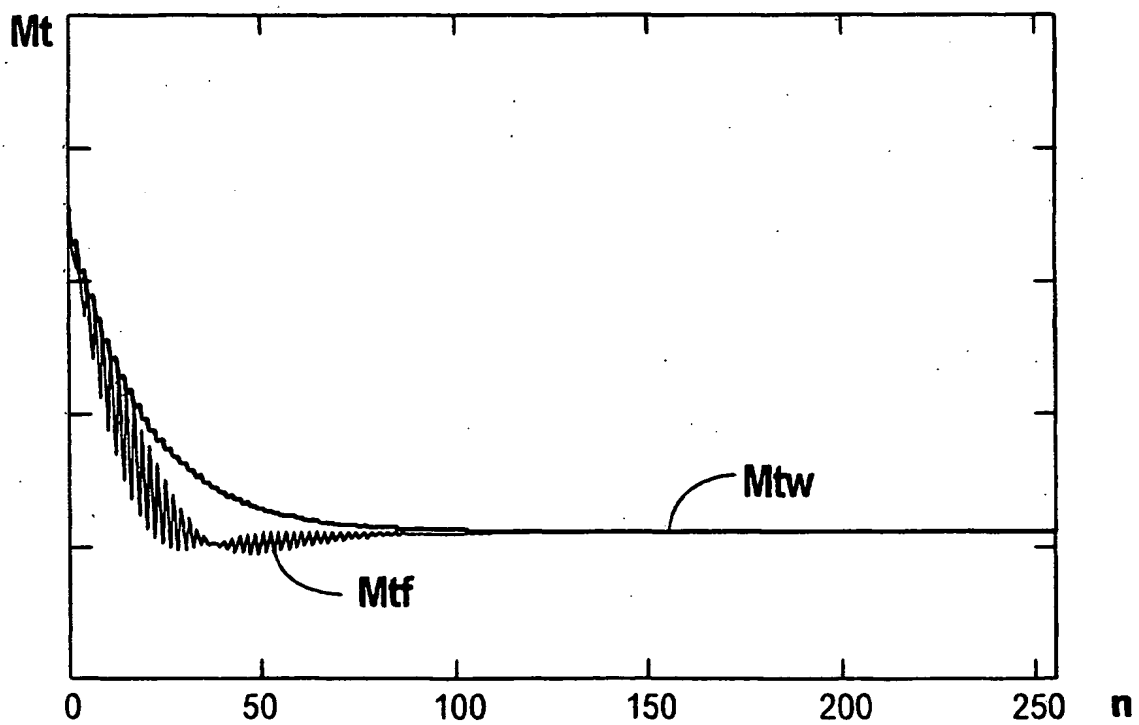


FIG 5

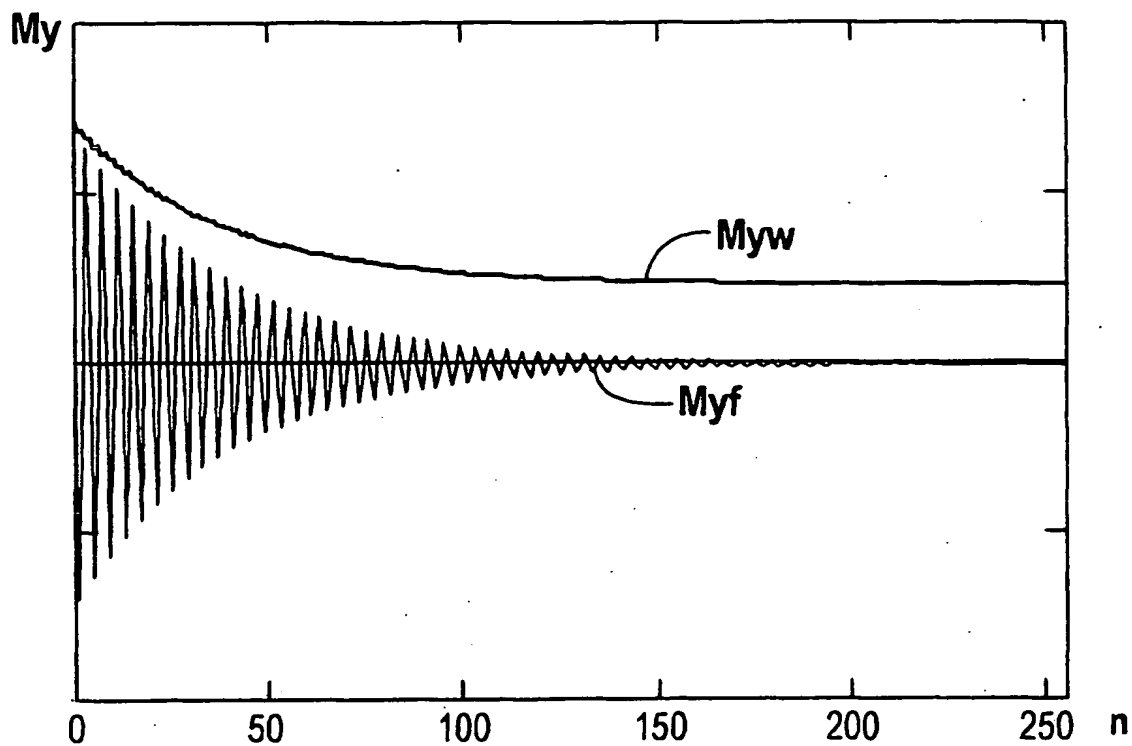


FIG 6

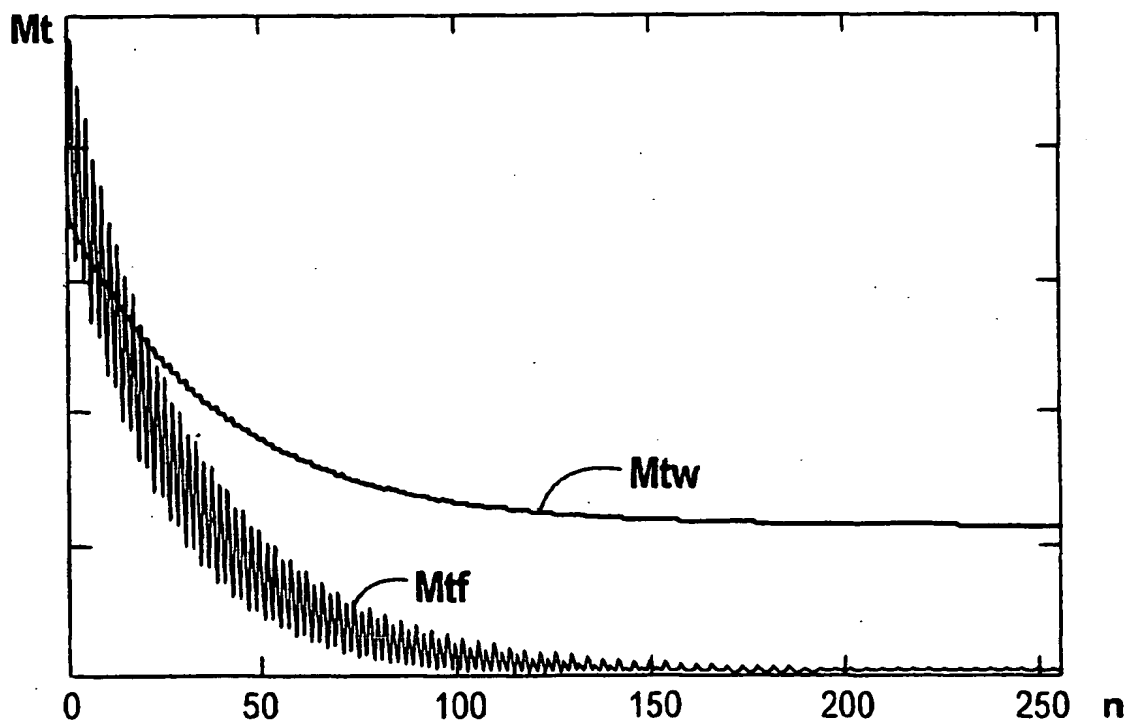


FIG 7

